**O Arquiteto e a simulação computacional de incêndio: uma interação possível?**

Leonardo Cunha1; Edna Moura Pinto2.

Contato: leonardo\_cunha83@yahoo.com.br

Tecnologia e Conforto no Ambiente Construído

**INTRODUÇÃO**

O tema tratado neste artigo originou-se incidentalmente da pesquisa que abordou o uso da simulação computacional de incêndio como ferramenta no processo projetual em arquitetura. Nota-se uma crescente disseminação dos *softwares* de simulação, principalmente entre os arquitetos que intencionam a aprovação de seus projetos perante os órgãos de classificação de desempenho. Os *softwares* desenvolvidos para utilizar a ‘linguagem’ do profissional que ira utilizá-lo tendem a ser destacar no ato da escolha do programa computacional a ser utilizado. Ou seja, a preferência é pelos *softwares* que permitam o arquiteto dedicar-se à análise dos resultados gerados, desocupando-o dos aspectos teóricos e dos complexos fenômenos físico-químicos envolvidos na simulação, bem como dos modelos matemáticos empregados na resolução do problema. Diante do exposto, defende-se que a simulação computacional de incêndio é uma ferramenta capaz subsidiar as soluções arquitetônicas voltadas para a promoção da Segurança Contra Incêndio nas Edificações - SCIE. Contudo, aspectos de ordem teórica e operacional podem desestimular, ou até mesmo inviabilizar, a integração dessas ferramentas à rotina do arquiteto. Nesse sentido, o artigo aborda as dificuldades de integração da simulação de incêndio à prática projetual do arquiteto, encontradas durante o desenvolvimento da pesquisa que tratou do estudo de uma forma alternativa de compartimentação. O *software* adotado nas simulações foi o *Fire Dynamics Simulator* [FDS] V. 6.1.2 e seu respectivo visualizador de resultados, o *Smokeview* [SMV], ambos desenvolvidos e disponibilizados gratuitamente pelo *National Institute of Standards and Technology* [NIST]. Optou-se pelo FDS-SMV em função da recorrência de indicações positivas encontradas na bibliografia pesquisada, que destacam sua vocação específica de modelagem de incêndios em contraponto aos *softwares* generalistas de dinâmica computacional de fluidos. Os resultados demonstraram que a desejável aproximação entre simulação de incêndio e arquitetura ainda depende de melhoramentos nos aspectos de ordem prática.

**OBJETIVOS**

Expor as potencialidades do uso da simulação computacional no desenvolvimento do projeto arquitetônico, porém apontando pontos que precisam ser trabalhados pelos programadores para tornar palatável a interação entre simulação de incêndio e processo projetual.

**MÉTODO**

A pesquisa da qual se origina o presente artigo foi conduzida seguindo o método denominado hipotético-dedutivo, proposto pelo filósofo Austríaco Karl Popper, que consiste em “buscar a verdade eliminando tudo o que é falso” (PORANTIM, 2013, p. 1). O método hipotético-dedutivo, conforme descrito por Lucena (2011), mostrou-se particularmente adequado para a pesquisa realizada, pois contempla a etapa de testes como principal forma de validação de uma hipótese inicialmente proposta.

**DESENVOLVIMENTO**

O projeto arquitetônico pode ser compreendido como o resultado de sucessivas decisões tomadas ao longo do seu processo de desenvolvimento, com o objetivo de atender a um determinado programa de necessidades. Quanto mais cedo o projetista assimilar os problemas apresentados, maiores são as chances de adotar soluções eficazes e economicamente viáveis. Nesse contexto, a SCIE na arquitetura deve ser considerada, principalmente, nas fases iniciais de elaboração do projeto, priorizando as soluções de proteção passiva de baixo custo e reduzindo significativamente a dependência de instalação dos sistemas ativos.

As medidas de proteção passiva são aquelas incorporadas à edificação e que possuem, mantêm e exercem suas características permanentemente, agindo discretamente numa situação de incêndio. Segundo Ono (2010, p. 24), as medidas passivas tem papel importante na garantia da segurança contra incêndio das edificações e a efetividade dessas medidas sofre grande influência das decisões arquitetônicas, principalmente àquelas que envolvem elementos intrínsecos ao projeto.

A possibilidade de avaliar o desempenho das medidas passivas de SCIE por meio de uma ferramenta compatível com a atividade projetual é, certamente, uma prática prudente e proveitosa. A simulação computacional apresenta-se como uma alternativa aos métodos experimentais ou empíricos, pois permite a análise de múltiplas alternativas, sem a infraestrutura necessária para a realização dos ensaios laboratoriais. Os *softwares* de dinâmica computacional de fluidos [CFD, na sigla em inglês] são capazes de simular o comportamento do fogo, a propagação do calor e a dispersão da fumaça.

**Simulação Computacional de Incêndio**

A simulação computacional no ambiente construído compreende os *softwares* de análise de desempenho dos elementos e dos sistemas que compõem as edificações. Os recursos computacionais vêm sendo utilizados para avaliar o comportamento térmico e energético de edificações desde a década de 1970, estimulados pela crise mundial de energia daquela época. O surgimento dos programas de CFD é atribuído à indústria aeroespacial, mas atualmente são utilizados em diversas áreas, tais como: indústria automobilística, naval, de manufaturados, astrofísica, meteorologia, oceanografia, etc. A engenharia e arquitetura são campos mais recentes de aplicação dessa ferramenta (TRINDADE, 2006, p. 41).

Comparado aos ensaios experimentais, a simulação computacional apresenta maior praticidade na obtenção dos resultados e flexibilidade para a realização de estudos paramétricos. Estima-se que os custos de uma simulação sejam inferiores aos testes de laboratório, principalmente se for considerada a infraestrutura necessária em ambos os métodos. Entretanto, apesar dos avanços tecnológicos, as simulações podem apresentar um considerável grau de incertezas nos resultados. As incertezas decorrem de diversos fatores, tais como: a escolha equivocada do algoritmo que representa o fenômeno físico, a acentuada simplificação na geometria do modelo ou a incorreta caracterização das condições de contorno.

As simulações de incêndio dividem-se, basicamente, em duas categorias: (1) desenvolvimento das chamas e dispersão dos subprodutos gasosos; e (2) evacuação de pessoas. Apesar de haver *softwares* capazes de realizar a simulação de ambas as categorias simultaneamente, percebeu-se na bibliografia pesquisada a escassez desse tipo de estudo, possivelmente em função da elevada capacidade de processamento computacional necessária para tal propósito.

No cenário internacional, a simulação de incêndio já é utilizada como ferramenta de avaliação das decisões projetuais em edifícios de alto padrão ou de patrimônio histórico (GOUVEIA; SOUZA, 2008, p. 3). O objetivo é avaliar os projetos com base nas normas de desempenho de SCIE, tendo em vista que a maioria das normas prescritivas revela-se inadequada para projetos de alta complexidade. Nesses casos a simulação permite uma avaliação de risco personalizada, tornando os projetos de segurança contra incêndio economicamente viáveis e adequados às peculiaridades de cada empreendimento. No Brasil, a utilização de simuladores de incêndio no desenvolvimento de projetos de arquitetura e de sistemas de extinção ainda é muito restrita (SCHEER; BARANOSKI, 2007, p. 5).

Diferentemente dos *softwares* CAD, os programas de CFD não são, de maneira geral, afeiçoados ao processo projetual arquitetônico. Essa falta de integração consiste numa barreira para a aceitação e assimilação desse tipo de ferramenta por parte dos arquitetos. Logo, a aplicação da simulação de incêndio no cenário nacional concentra-se na reconstituição e investigação de incêndios pregressos e ainda está fortemente ligada ao meio acadêmico.

Mesmo diante das dificuldades, a disseminação da simulação computacional de incêndio deve ser estimulada não apenas no meio acadêmico, uma vez que se constitui em uma importante ferramenta na elaboração dos projetos. Além de permitir a comprovação das normas prescritivas, a simulação de incêndio possibilita a adoção de soluções alternativas, personalizadas e de baixo custo, satisfazendo os objetivos de SCIE (ALVES; CAMPOS e BRAGA, 2008, p. 7).

Existem diversos *softwares* de simulação de incêndio, contudo a maioria corresponde a licenças comerciais. Os institutos de pesquisa interessados em difundir a utilização e fomentar estudos com o uso do CFD encarregam-se de desenvolver e disponibilizar programas gratuitos. Todavia, esses programas normalmente apresentam uma interface pouco amigável e exigem elevado grau de conhecimento científico para a elaboração do modelo e das condições de contorno. De um modo bastante sucinto, pode-se dizer que os programas gratuitos são desenvolvidos por pesquisadores e para pesquisadores, sem maiores preocupações com usuários de outras áreas.

Os desenvolvedores de *softwares* comerciais, com o compreensível interesse em cativar o usuário, buscam dirimir as dificuldades operacionais encontradas nos programas gratuitos. Por vezes, as licenças comerciais utilizam o algoritmo dos *softwares* gratuitos para o processamento do modelo e desenvolvem apenas a interface de entrada de dados.

***Fire Dynamics Simulator* - FDS: aspectos operacionais.**

Desde o seu desenvolvimento no ano 2000, o *Fire Dynamics Simulator* [FDS] vem sendo utilizado na resolução de problemas de engenharia de segurança contra incêndio e em pesquisas de dinâmica do fogo e da combustão. O FDS resolve numericamente as equações de mecânica dos fluidos voltadas para escoamentos de baixa velocidade, termicamente dirigido e com ênfase no transporte de calor e fumaça. A partir das simulações realizadas no FDS é possível estimar: a formação, o deslocamento, a altura e a temperatura da camada de fumaça; a evolução das chamas e a taxa de oxigênio consumida durante o incêndio.

A simulação inicia-se com a descrição dos dados de entrada, inseridos pelo operador por meio de um arquivo de texto (Figura 1) e que deve conter todas as informações referentes ao modelo, ao domínio, à malha, ao tempo de simulação, às condições de contorno, às propriedades dos materiais, às condições de combustão, bem como o tipo de resultado a ser apresentado. O processamento ocorre em modo DOS e nessa etapa o operador pode apenas acompanhar o tempo transcorrido da simulação (Figura 2). Os dados de saída do FDS são gerados em formatos distintos. Dentre eles, destacam-se os arquivos de dados tabulados e a visualização gráfica, por meio do *software* *Smokeview*, incluído no pacote de instalação do FDS.

Figura 1: Exemplo de um arquivo de entrada de dados a ser processado pelo FDS

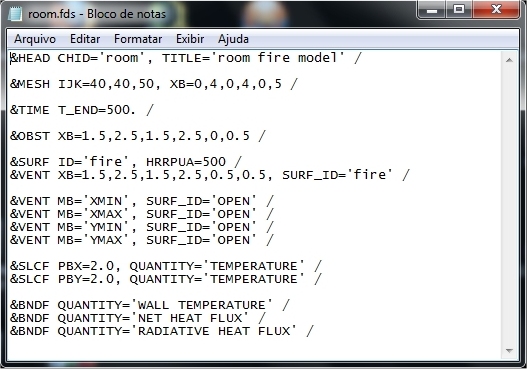


Figura 2: Exemplo do processamento em modo DOS de uma simulação no FDS.



A caracterização das condições de contorno envolve: (1) a descrição das fases do incêndio: ignição, crescimento, desenvolvimento e extinção; (2) o comportamento das chamas e de seus subprodutos e (3) a iteração desses com as variáveis ambientais e com os sistemas de proteção. Trata-se de ema etapa crítica na simulação de incêndio em razão da numerosa quantidade de variáveis envolvidas. O próprio manual do usuário do FDS (McGRATTAN; et. al., 2014, p. 63) é bastante enfático sobre essa etapa, ao afirmar que a determinação das condições de contorno é a parte mais desafiadora na criação da simulação e que é responsabilidade do operador fornecer as propriedades térmicas dos materiais para então avaliar a comportamento do modelo, certificando-se que o fenômeno de interesse está sendo simulado corretamente. É preciso, portanto, selecionar um conjunto reduzido e manipulável de variáveis, dentro do universo existente. A ISO 16733 (ISO, 2006) recomenda que a metodologia empregada na seleção das condições de contorno seja adaptada aos objetivos do projeto de segurança contra incêndio: evacuação dos ocupantes, preservação do patrimônio ou preservação da construção.

A fiel reprodução de um incêndio pode exigir também a descrição de propriedades complementares, tais como: o tempo de queima, a velocidade de propagação e a ‘fração do material combustível transformada em fumaça’. O estudo do comportamento da fumaça é realizado, normalmente, inserindo-se uma substância que reage com a chama. Nos trabalhos pesquisados notou-se a recorrência do uso do ‘poliuretano-padrão’ do FDS para tal finalidade. Alves (2010, p. 206) defende a escolha desse material por considerá-lo representativo dos elementos frequentemente encontrados em ambientes domésticos ou de escritórios.

A determinação da variável denominada ‘taxa de calor liberado por unidade de área’ [HRRPUA, na abreviação em inglês] variou significativamente na bibliografia pesquisada. Encontra-se o HRRPUA variando de 250 kW/m² (FAKURY; CALDAS e BRANCO, 2011, p. 99) até 5000 kW/m² (RUSCHEL 2011, p. 74). Cunha e Martinelli Jr. (*In*: Seito et al., 2008, p. 261) sugerem uma taxa de liberação de calor entre 60 e 500 kW/m² para a definição de projetos de sistema de controle e fumaça.

A posição da chama inicial dentro do ambiente é, também, uma variável determinante na elaboração do cenário de incêndio. Pannoni e Silva (*In*: Seito et al., 2008, p. 418) afirmam que o número dos possíveis cenários de incêndio pode se tornar muito grande, mesmo em uma edificação simples. Contudo, é desnecessário conhecer todos eles, sendo o mais usual identificar, pelo menos, mais de um cenário crítico para a avaliação detalhada. No caso de compartimentos isolados de pequena dimensão, o autor sugere identificar o cenário que represente claramente o pior caso.

**Definição da malha**

A simulação de incêndio consiste em um ambiente virtual, denominado domínio, composto pelos elementos participantes do fenômeno físico de interesse. O domínio é subdividido em células justapostas, dentro das quais são solucionadas, repetidas vezes, as equações da mecânica dos fluidos. O conjunto destas células recebe o nome de malha.

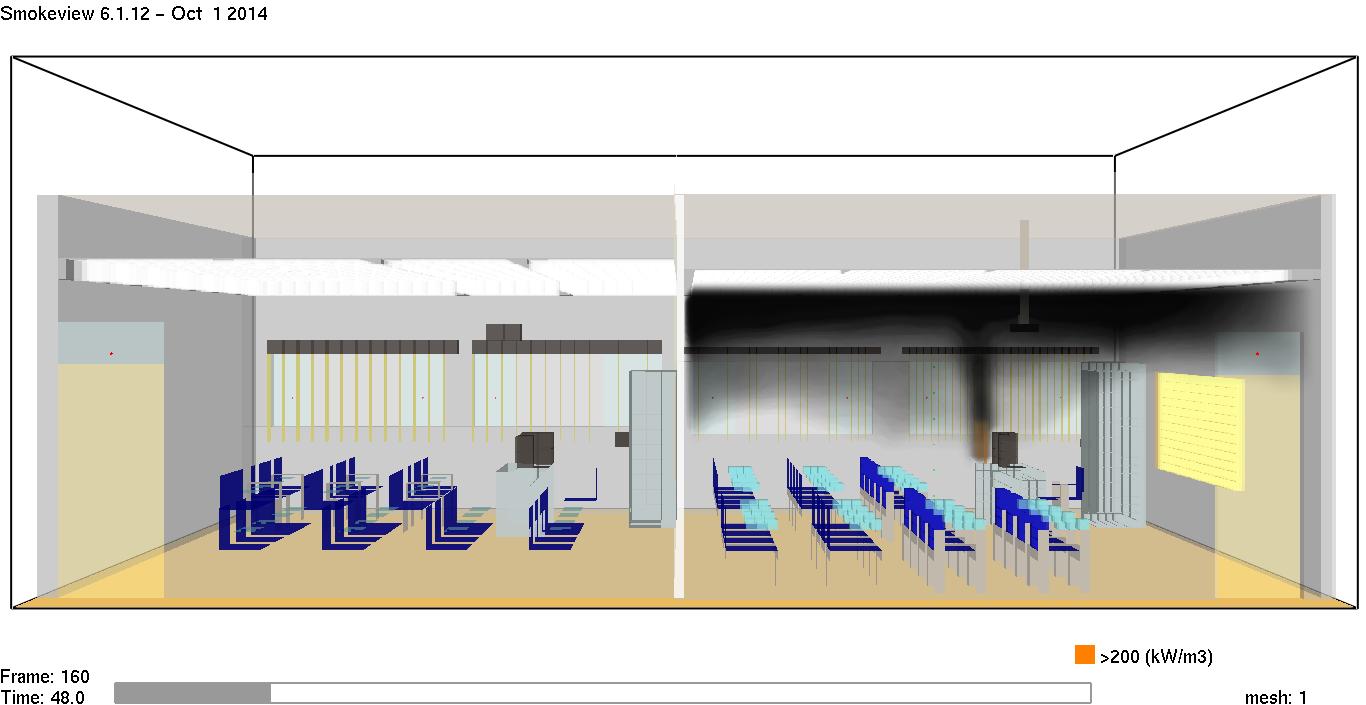
O sucesso de uma simulação em CFD está diretamente ligado à correta definição da malha. Malhas espaçadas não são capazes de interpretar adequadamente os elementos contidos no domínio, ignorando aqueles cujas dimensões são significativamente inferiores ao tamanho de uma célula. Por outro lado, malhas densas aumentam consideravelmente a quantidade de cálculos a serem realizados, impactando diretamente no tempo de processamento e na estabilidade dos resultados. A malha pode ser considerada refinada quando assume a maior dimensão possível, permitindo que os resultados se estabilizem dentro de um tempo razoável, mas sem desconsiderar os elementos contidos no domínio.

Não há um valor exato a ser empregado no dimensionamento da malha e diversos fatores, tanto de ordem teórica quanto operacional, precisam ser considerados. O procedimento usual é iniciar as simulações com malhas espaçadas e ir reduzindo as dimensões das células a cada nova simulação, até que os resultados se estabilizem (McGRATTAN; et. al., 2014, p. 37). No caso específico do FDS, Gissi (2010, p. 60) afirma que células com dimensões de 10 cm podem ser adequadas para avaliar a propagação da fumaça e do calor através de um edifício em um incêndio considerável. Overholt (2007) desenvolveu e disponibilizou em sua página pessoal na internet uma ferramenta *on-line* para calcular a malha. A partir das informações de dimensão do domínio e da taxa de liberação de calor, o ‘calculador de malha’ apresenta a quantidade de células em cada eixo cartesiano, considerando três níveis de refinamento: ‘grosseiro’, ‘moderado’ e ‘fino’.

**Modelo**

Todos os elementos sólidos são modelados no FDS como prismas de base retangular, inseridos a partir das coordenadas dos vértices de cada objeto. Trata-se de uma tarefa bastante trabalhosa, principalmente nos casos em que há grande quantidade de mobiliário ou de elementos arquitetônicos relevantes (Figura 3).

Figura 3: Exemplo de uma simulação processada pelo FDS e visualizada por meio do *Smokeview*.



**CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A plena utilização dos programas computacionais de simulação envolve as etapas de: aprendizagem, modelagem, seleção das variáveis, testes preliminares, ajustes, tratamento dos resultados e validação. Nesse contexto, a amigabilidade operacional e o tempo de processamento facilitam o processo e estimulam a utilização voluntária do *software.*

A bibliografia pesquisada revelou que a maioria dos estudos com o uso do FDS busca reproduzir incêndios pregressos ou experimentais, como pode ser verificado em Ruschel (2011), Mazzoni (2010) e Rodrigues (2009). Esse procedimento permite a calibração do modelo por meio da comparação dos resultados da simulação com os dados coletados no evento de referência. Na pesquisa realizada ficou evidente que a simulação de um incêndio hipotético impõe um considerável grau de dificuldade, tendo em vista a numerosa quantidade de parâmetros exigidos para a correta definição das substâncias químicas participantes, da chama e dos subprodutos.

A respeito dos aspectos operacionais, verificou-se que:

1. A entrada de dados por meio de um arquivo de texto dificulta a aplicação do FDS nas fases iniciais do processo de concepção arquitetônica, quando há grande quantidade de alternativas possíveis e as decisões projetuais são tomadas rapidamente. Uma vez que qualquer intervenção implica em redigir, linha por linha, as alterações realizadas no protótipo;
2. A inserção de objetos estreitos em domínios de grande dimensão implica, invariavelmente, em complicações na definição da malha. Malhas espaçadas suscitam o surgimento de mensagens de erro na etapa de leitura do arquivo de entrada de dados e a consequente interrupção da simulação. Por outro lado, adotar a malha ‘fina’ sugerida pelo calculador *on-line* (OVERHOLT, 2007), implica em um tempo de processamento extraordinariamente elevado ou em uma capacidade de processamento incompatível com computadores pessoais [desktop];
3. A modelagem via arquivo de texto torna especialmente trabalhosa a tarefa de representar fidedignamente os elementos constituintes do modelo, como o mobiliário, por exemplo. Logo, simplificações geométricas tornam-se indispensáveis. No entanto, desconhecem-se parâmetros que determinem o grau aceitável de simplificação.

Contudo, apesar de laboriosa, a modelagem por meio de coordenadas cartesianas é uma atividade afeita aos profissionais versados em geometria, como é o caso dos arquitetos. Tomando a liberdade de compartilhar uma opinião pessoal, por acreditar que ela represente uma fração significativa dos arquitetos, os autores do presente trabalho apontam a caracterização do processo de combustão como o item de maior dificuldade na elaboração do arquivo de entrada de dados. Essa caracterização faz uso de conceitos avançados de física, química e matemática, pressupostamente conhecidos pelo operador, porém seguramente alheios à maioria dos projetistas de edificações. A ausência de *templates* pré-configurados incumbe o operador a responsabilidade de atribuir valores às diversas variáveis físico-químicas da combustão, de difícil obtenção até mesmo na literatura especializada. Logo, a bem-intencionada tentativa de reprodução da realidade tende a distanciar a simulação computacional da prática projetual, pois os conhecimentos exigidos para uma modelagem fidedigna fogem do escopo de conhecimento do arquiteto típico.

Conclui-se que a simulação computacional de incêndio ainda está fortemente vinculada à reconstituição de incêndios pregressos ou à pesquisa acadêmica. O modo atual de construção do modelo e de caracterização do incêndio desestimula a utilização do FDS e, consequentemente, afasta-o das fases iniciais do processo de elaboração dos projetos. Assim, a desejável aproximação entre simulação de incêndio e arquitetura ainda depende de melhoramentos nos aspectos de ordem prática.

**AGRADECIMENTOS**

Aos gestores e conselheiros da UFERSA, por terem aprovado o imprescindível afastamento funcional de um dos autores desse trabalho para o desenvolvimento da pesquisa.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALVES, Alessandra Beatriz Carneiro Gonçalves. **A questão do escape em edifícios altos:** A influência da fumaça de incêndio na proteção da vida. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília – FAU/UNB. Brasília, 2010. 286 p.

ALVES, A. B. C. G.; CAMPOS, A. T.; BRAGA, G. C. B.. **Simulação Computacional de Incêndio Aplicada ao Projeto de Arquitetura.** In: Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo NUTAU. São Paulo, 2008.

FAKURY, R. H.; CALDAS, R. B.; BRANCO, A. P. C.. **Estudo de caso: Análise da estrutura metálica de readequação do cine Brasil em Belo Horizonte em situação de incêndio.** In: Anais do I Congresso Ibero-latino Americano sobre Segurança contra Incêndio – CILASCI, Natal/RN, 2011. ISBN 978.989-97210-0-5.

GISSI, Emanuele. **An introduction to Fire Simulation with FDS and Smokeview:**Updated to FDS 5.5.1 and BlenderFDS. (internet) 2010. 170 p. Disponível em: <https://sites.google.com/a/corbezzolo.org/pages/Home/download\_FSE/>. Acessado em: 17 ago. 2015.

GOUVEIA, F. B. S.; SOUZA, J. C.. **Aplicação do Sistema de Projeto Baseado em Desempenho para a Segurança Contra Incêndios em Edifícios Históricos.** In: Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo NUTAU. São Paulo, 2008.

International Organization for Standardization. **ISO/DIS 16733-1: Fire safety engineering — Selection of design fire scenarios and design fires — Part 1:** Selection of design fire scenarios*.* Geneva, 2006.

LUCENA, Fábio de Oliveira. **Monografia**: Arte e técnica da construção. Editora Ciência Moderna Ldta. Rio de Janeiro, 2011. ISBN: 978-85-399-0085-5.

MAZZONI, F. **Simulação computacional de incêndios: Aplicação no caso do condomínio edifício Cacique em Porto Alegre-RS.** Monografia (Graduação). Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia, UFRGS. Porto Alegre, 2010.

McGRATTAN, Kelvin, et al. **Fire Dynamics Simulator User’s Guide**: Sixth Edition. NIST Special Publication 1019: National Institute of Standards and Technology - NIST, Maryland (EUA), 2014.

ONO, R.. **O impacto do método de dimensionamento das saídas de emergência sobre o projeto arquitetônico de edifícios altos:** uma análise crítica e proposta de aprimoramento. Tese (Livre Docência - Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura) FAUUSP – São Paulo, 2010. 457 p.

OVERHOLT, K.. **Fire Dynamics Simulator Mesh Size Calculator.** 2007. Disponível em: < <http://www.koverholt.com/fds-mesh-size-calc/>>.

PORANTIM, Maurício. **O Método hipotético-dedutivo**. Livre Pensamento, (internet) 2013. Disponível em: <http://livrepensamento.com/2013/10/01/o-metodo-hipotetico-dedutivo/>. Acesso em: 30 jun. 2015.

RODRIGUES, E. C. R.. **Análise da eficiência do sistema de compartimentação vertical externa por afastamento entre janelas e por projeções horizontais Segundo as exigências normativas brasileiras.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS. Porto Alegre, 2009.

RUSCHEL, F.. **Avaliação da utilização de ferramentas de simulação computacional para reconstituição de incêndios em edificações de concreto armado: aplicação ao caso Shopping Total em Porto Alegre - RS.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS. Porto Alegre, 2011.

SCHEER, S., e BARANOSKI E. L.. **A utilização de simuladores de incêndio como ferramenta auxiliar para o desenvolvimento de projetos de arquitetura e de prevenção de incêndio.** In: VII Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios - VII WBGPPCE. Curitiba, 2007.

SEITO, A. I. (coord.), et al.. **A segurança contra incêndio no Brasil.** Projeto editora. São Paulo, 2008. 496p. ISBN: 978-85-61295-00-4.

TRINDADE, S. C.. **Ventilação natural em edifícios tipo galpão no clima de Natal/RN:**aplicação de simulação computacional. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFRN. Natal, 2006, Brasil.